

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-254073

(43) 公開日 平成9年(1997)9月30日

| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|------|--------|-----------------------|--------|
| B 2 5 J 19/00 9/06 | | | B 2 5 J 19/00 9/06 | D C |

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平8-68454

(22) 出願日 平成8年(1996)3月25日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 樋口 峰夫

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

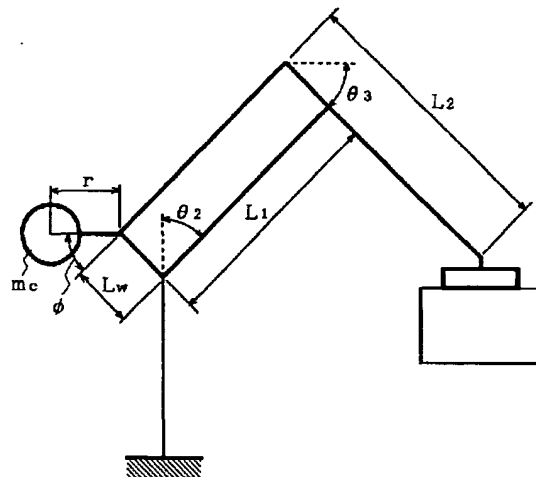
(74) 代理人 弁理士 田澤 博昭 (外2名)

(54) 【発明の名称】 多関節型ロボット

(57) 【要約】

【課題】 静的なつり合いの式から重錘の最適取付位置や質量を決定すると重錘の質量が重くなりすぎ動作時間が遅くなる課題があった。バネを用いるとコストが上昇し、バネの寿命でロボットの寿命が制限されるなどの課題もあった。

【解決手段】 後節下端節の後節に対する角度、後節下端節の長さ及び重錘の質量を、第1の回動軸及び第2の回動軸のトルクと第1アーム、第2アーム、下節及び後節下端節に作用する重力に、第1の回動軸及び第2の回動軸の動作時間、第1の回動軸及び第2の回動軸の角加速度を加味して決定するものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ロボット胴部に鉛直面内で回転自在に保持された第1の回転軸と、一端が上記第1の回転軸に係止され、上記第1の回転軸回りに回転する第1アームと、該第1アームの他端に鉛直面内で回転自在に保持された第2の回転軸と、一端にワークを把持する把持手段を有し、上記第2の回転軸に係止され、上記第2の回転軸を中心にして回転する第2アームと、一端が上記第1の回転軸回りに回転自在で且つ上記第2アームと平行になるよう上記第1の回転軸に係止された下節と、一端が上記第2アームの他端に支持される一方、他端が上記下節の他端に支持され、上記第1アーム及び上記第2アーム並びに下節とともに平行4節リンクを形成する後節と、一端が上記後節と所定の角度を保持するよう上記後節の他端に取り付けられた後節下端節と、該後節下端節の他端に取り付けられた重錘とを備えた多関節型ロボット。

【請求項2】 後節下端節の後節に対する角度、上記後節下端節の長さ及び重錘の質量を、第1の回転軸及び第2の回転軸の角加速度、第1の回転軸及び第2の回転軸のトルク、及び第1アーム、第2アーム、下節及び後節下端節に作用する重力により決定することを特徴とする請求項1記載の多関節型ロボット。

【請求項3】 後節下端節の後節に対する角度、上記後節下端節の長さ及び重錘の質量を、第1の回転軸及び第2の回転軸の動作時間、第1の回転軸及び第2の回転軸の角加速度、第1の回転軸及び第2の回転軸のトルク、及び第1アーム、第2アーム、下節及び後節下端節に作用する重力により決定することを特徴とする請求項1記載の多関節型ロボット。

【請求項4】 ロボットが実際に作業する動作範囲を限定し、後節下端節の後節に対する角度、上記後節下端節の長さ及び重錘の質量を決定することを特徴とする請求項2または請求項3記載の多関節型ロボット。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は多関節型ロボット、特に平行リンク式の垂直多関節型ロボットに関するものである。

【0002】

【従来の技術】図10は従来の多関節型ロボットを示す構成図であり、図において、1はロボットの基台、2はこの基台1上に設けられたロボット胴部であり、ロボット胴部駆動源（図示していない）により旋回駆動する。3はロボット胴部2に枢着された第1の回転軸、4は第1アームであり、この第1アーム4の下端は第1の回転軸3に固定され、第1の回転軸駆動源（図示していない）により第1の回転軸3回りに回転する。5は第1アーム4に枢着された第2の回転軸、6は第2アームであり、この第2アーム6は第2の回転軸5に固定され、第

2の回転軸駆動源（図示していない）により第2の回転軸5を中心にして回転する。7は第2アーム後端節であり、第2アーム6を第2の回転軸5から後方（ロボットが作業する側を前方としている）へ延長した部分である。8は一端が第1の回転軸3回りに回転自在に連結され、他端が後節9に回転自在に連結された下節、9は第1アーム4と平行になるように、第2アーム後端節7の端部と下節8の端部をつなぐ後節である。ここで第1アーム4、第2アーム後端節7、下節8及び後節9は平行4節リンクを成している。10は下節8の後節9取付側端部に設けられた重錘である。尚、図10に示す多関節型ロボットを従来例1という。

【0003】次に動作について説明する。ロボットがロボット胴部駆動源、第1の回転軸駆動源及び第2の回転軸駆動源によりそれぞれロボット胴部2、第1アーム4及び第2アーム6を回転させて作業を行っている時、重錘10の質量により下節8を下方へ下ろそうとし、下節8は後節9を下方へ引き、後節9は第2アーム後端節7を下げようとする。従って、第2の回転軸5に関して、下節8がモーメントアームになり、重錘10の質量により第2アーム6の重力による負荷が軽減される。

【0004】図11は例えば実開平1-121682号公報に示された平行リンク式垂直多関節型ロボットを示す構成図であり、図において、20は第1アーム4の第1の回転軸3より下方に延長した部分である第1アーム下端部であり、その端部は下節8と連結されている。21は後節9と下節8の枢着点の第2アーム回転用の駆動源であり、この駆動源21の質量が重錘としての役割を果たす。尚、図10に相当する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。また、これは従来例1を改良した多関節型ロボットであり、以下、従来例2という。

【0005】従来例1では重錘10が第1の回転軸3と同じ高さであったが、従来例2では第2アーム回転用の駆動源21が第1の回転軸3より下方にあるので、従来例1のように第2アーム6の重力負荷軽減ができると同時に、第1の回転軸3に関して、第1アーム下端部20がモーメントアームになり、第2アーム回転用の駆動源21の質量により第1アーム4の重力による負荷も軽減される。

【0006】図12は例えば特公平7-16903号公報に示された多関節型ロボットの重力バランスである。これも従来例1を改良した多関節型ロボットであり、以下、従来例3という。図において、C'1は第1の回転軸3の枢着点、C'2は第2の回転軸5の枢着点、C'3は第2アーム後端部7と後節9との連結点、C'4は下節8と後節9との連結点に相当する。11は連結点C'4より下方に延長された後節下端節であり、この後節下端節11の下端に重錘Wが取り付けられている。従って、従来例3では従来例2と同様に重錘Wが第1の回転軸3より下方に設けられているので、従来例2のよう

に、第2アーム6の重力負荷軽減ができると同時に、第1アーム4の重力負荷軽減もできる。

【0007】さらに、この従来例3では、各枢着点（及び連結点） $C'1 \sim C'4$ に作用するモーメント力（各リンクの長さ、質量、重心の位置を用いて決定される）から平行4節リンクのつり合いの式を立て、この式から重錘 W の質量と最適取付位置（図12では後節下端節11の長さ $1W$ ）を求め、関節まわりの静的なバランスとを容易に行っている。

【0008】図13は従来のバネを用いた垂直多関節型ロボットを示す構成図であり、図において、22はロボット胴部2の上部と第1アーム4との間に張られたバネである。以下、図13に示す垂直多関節型ロボットを従来例4という。

【0009】従来例4では、第1アーム4が前後方向に倒れると、伸びたバネ22が第1アーム4を引っ張り、垂直に立った状態に戻そうとするので、第1アーム4の回動軸である第1の回動軸3に対する重力の負荷が軽減される。尚、従来のバネを用いて重力負荷軽減する多関節型ロボットを開示しているものとして、特開平1-109087号公報等がある。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】従来の多関節型ロボットは以上のように構成されているので、従来例1及び従来例2のような多関節型ロボットでは、重錘を取り付けることにより第1アーム4及び第2アーム6の重力負荷を軽減しているが、必ずしも重錘の取付位置は重力負荷を軽減するために最適ではなく、従来例3のような多関節型ロボットでは、実際にロボットが動作（作業）をしている場合を考慮せずに、静的な平行4節リンクのつり合いの式から重錘の最適取付位置や質量を決定しているので、重錘の質量が重くなりすぎ、重錘の質量によりアームの慣性モーメントが増加して、加速トルクが大きくとれなくなって動作時間が遅くなるなどの課題があった。また、従来例4のような多関節型ロボットでは、バネ22を用いることでコストが上昇し、またバネの寿命でロボットの寿命が制限されるなどの課題があった。

【0011】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、重錘を用いて第1アームと第2アームの重力負荷を同時に軽減する際、重錘の取付位置を最適にできる多関節型ロボットを得ることを目的とする。また、この発明は重錘の最適取付位置や質量を決定する際、第1アーム及び第2アームの角加速の低下または加速時間の増大を最小限にする多関節型ロボットを得ることを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明に係る多関節型ロボットは、一端が後節と所定の角度を保持するよう後節の他端に取り付けられた後節下端節と、この後節下端節の他端に取り付けられた重錘とを備えたも

のである。

【0013】請求項2記載の発明に係る多関節型ロボットは、後節下端節の後節に対する角度、後節下端節の長さ及び重錘の質量を、第1の回動軸及び第2の回動軸の角加速度、第1の回動軸及び第2の回動軸のトルク、及び第1アーム、第2アーム、下節及び後節下端節に作用する重力により決定するものである。

【0014】請求項3記載の発明に係る多関節型ロボットは、後節下端節の後節に対する角度、後節下端節の長さ及び重錘の質量を、第1の回動軸及び第2の回動軸の動作時間、第1の回動軸及び第2の回動軸の角加速度、第1の回動軸及び第2の回動軸のトルク、及び第1アーム、第2アーム、下節及び後節下端節に作用する重力により決定するものである。

【0015】請求項4記載の発明に係る多関節型ロボットは、ロボットが実際に作業する動作範囲を限定し、後節下端節の後節に対する角度、後節下端節の長さ及び重錘の質量を決定するものである。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1による平行リンク式垂直多関節型ロボットを示す構成図であり、図において、1はロボットの基台、2はこの基台1上に設けられたロボット胴部であり、ロボット胴部駆動源（図示していない）により旋回駆動する。3はロボット胴部2に枢着された第1の回動軸、4は第1アームであり、この第1アーム4の下端は第1の回動軸3に固定され、第1の回動軸駆動源（図示していない）により第1の回動軸3回りに回動する。5は第1アーム4に枢着された第2の回動軸、6は第2アームであり、この第2アーム6は第2の回動軸5に固定され、第2の回動軸駆動源（図示していない）により第2の回動軸5を中心に回動する。7は第2アーム後端節であり、第2アーム6を第2の回動軸5から後方（ロボットが作業する側を前方としている）へ延長した部分である。8は一端が第1の回動軸3回りに回動自在に連結され、他端が後節9に回動自在に連結された下節、9は第2アーム後端節7の端部と下節8の端部をつなぎ、それぞれの端部と回動自在で且つ第1アーム4と平行になるように連結された後節である。ここで第1アーム4、第2アーム後端節7、下節8及び後節9は平行4節リンクを成している。

【0017】11は後節9を第2アーム6と反対側に延長した後節下端節であり、後節9に対して所定の角度 ϕ 、所定の長さ r だけ延長している。10は後節下端節11の下端に設けられた重錘である。12は第2アーム6の前端（ロボットが作業する側を前方としている）に設けられた手首軸（把持手段）であり、この手首軸12はロボット胴部2から第1アーム4と第2アーム6に沿って取り付けられた平行リンク（図示していない）によ

り、第1アーム4と第2アーム6の姿勢にかかわらず水平を保つようになっている。13は手首軸12の下に設けられ、手首軸駆動源(図示していない)により回動駆動されるハンド(把持手段)であり、このハンド13はハンド駆動源(図示していない)の力によりワーク14を把持するものである。尚、上記ロボット胴部駆動源、第1の回動軸駆動源、第2の回動軸駆動源及び手首軸駆動源はモータと減速機、あるいはエアシリンダーから構成され、ロボットの外部(あるいは内部)に設置された制御装置(図示していない)により制御されている。

【0018】次に動作について説明する。図2は平行リンク式垂直多関節型ロボットの動作説明をするための概略図であり、第1アーム4、第2アーム6、下節8、後節9及び後節下端節11などを線で表している。図2(a)に示すように、第1の回動軸3が回動して第1アーム4が前に倒れた場合、第1の回動軸3に関して、後節下端節11がモーメントアームになり、重錘10の質量により第1アーム4を起こそうとするので、第1アーム4の重力負荷が軽減される。この時、重力負荷が最も軽減されるように、重錘10の質量、後節下端節11の後節9に対する所定の角度 ϕ 、所定の長さ r を調節する。また、図2(b)に示すように、第2の回動軸5が回動して第2アーム6が水平になった場合、第2の回動軸5に関して、下節8がモーメントアームになり、重錘10の質量により第2アーム6を持ち上げようとするので、第2アーム6の重力負荷が軽減される。この時、重力負荷が最も軽減されるように、重錘10の質量、後節下端節11の後節9に対する所定の角度 ϕ 、所定の長さ r を調節する。

【0019】以上のように、この実施の形態1によれ

$$t_2 = -(I_{w2} + I_{c2}) * \beta_2 + m_{w2} * g * L_1 * \sin(\theta_2) - m_c * g * r * \sin(\theta_2 + \phi) \quad (1)$$

【0023】ここで各項の値を次のように定めている。 t_2 は第1の回動軸3の減速機出力軸に加えるべきトルク、 β_2 は第1の回動軸3の減速機出力軸の角加速度、 m_{w2} は肘(第2の回動軸5)から先の等価質量(肘にこの等価質量が作用すると考える)、 g は重力加速度である。また、 I_{w2} は肘から先の等価質量による第1の回動軸3まわりの慣性モーメントであり、

$$I_{w2} = m_{w2} * L_1 * L_1$$

となる。 I_{c2} は重錘10による第1の回動軸3まわりの慣性モーメントであり、

$$I_{c2} = m_c * r * r$$

となる。

【0024】従来例3では静的な平行4節リンクのつり

$$\beta_2 = (tr_2 + m_{w2} * g * L_1 * \sin(\theta_2) - m_c * g * r * \sin(\theta_2 + \phi)) / (m_{w2} * L_1 * L_1 + m_c * r * r) \quad (2)$$

【0027】上記式2に既知の値を代入する。既知の値は、 tr_2 (減速機の最大許容トルク)、 L_1 (第1ア

ーム4の長さ)、 m_{w2} (肘から先の等価質量)、 g (重力加速度)である。ここで、 tr_2 は右回りを正としている。尚、右辺について、右回りを正としている。

【0020】実施の形態2. 上記実施の形態1では後節下端節11の下端に重錘10を取付け、重錘10の質量、後節下端節11の後節9に対する角度 ϕ 、後節下端節11の長さ r を調節することにより重力負荷を軽減するが、この実施の形態2では、重力負荷軽減に最適な重錘10の質量、角度 ϕ 、長さ r を決定する。図3はこの発明の実施の形態2による平行リンク式垂直多関節型ロボットを示す概略図であり、図において、 θ_2 は第1の回動軸3の角度(垂直軸に対する第1アーム4の角度)、 θ_3 は第2の回動軸5の角度(水平軸に対する第2アーム6の角度)、 L_1 は第1アーム4の長さ、 L_2 は第2アーム6の長さ、 L_w は下節8の長さ、 r は後節下端節11の長さ、 ϕ は後節9に対する後節下端節11の角度、 m_c は重錘10の質量である。

【0021】次に重錘10の質量 m_c と後節9に対する後節下端節11の角度 ϕ 、後節下端節11の長さ r を決定する方法について説明する。まず、第1の回動軸3に関する重力負荷軽減方式について説明する。第1の回動軸3の減速機出力軸に加えるべきトルク t_2 は概略次式のようになる。尚、右辺について、右回りを正としている。

【0022】

合いの式から重錘の最適取付位置や質量を決定していたが、この実施の形態2では実際にロボットが動作(作業)をしている場合を想定し、この動作中のつり合いの式から重錘の最適取付位置や質量を決定するものである。従って、式1ではトルク、各節に作用する重力だけでなく、角加速度により作用する力(角運動方程式)をも考慮している(式1中、 $(I_{w2} + I_{c2}) * \beta_2$)。

【0025】式1の左辺 t_2 に減速機の出力 tr_2 が加えられたとする。ここで、 tr_2 は第1の回動軸3の減速機の許容最大トルクである。 $t_2 = tr_2$ と置いて、これを第1の回動軸3の角加速度 β_2 について解けば次のようになる。

【0026】

L_4 の長さ)、 m_{w2} (肘から先の等価質量)、 g (重力加速度)である。ここで、 tr_2 は右回りを正としてい

る。代入した結果を重錘10の質量 m_c 、後節下端節11の長さ r 、後節9に対する後節下端節11の角度 ϕ 、及び第1の回動軸3の角度 θ_2 の関数 β_{2pls} とする。

【0028】同様に、上記式2に既知の値を代入する。既知の値は上記角加速度 β_{2pls} と同様に、 tr_2 （減速機の最大許容トルク）、 L_1 （第1アーム4の長さ）、 mw_2 （肘から先の等価質量）、 g （重力加速度）であるが、 tr_2 は左回りとして、負としている。代入した結果を重錘10の質量 m_c 、後節下端節11の長さ r 、後節9に対する後節下端節11の角度 ϕ 、及び第1の回動軸3の角度 θ_2 の関数 β_{2mns} とする。

$$e_{a2pls} = \int_{\theta_{2l}}^{\theta_{2u}} \beta_{2pls} d\theta \quad \dots (3)$$

$$e_{a2mns} = \int_{\theta_{2l}}^{\theta_{2u}} -\beta_{2mns} d\theta \quad \dots (4)$$

【0031】尚、左回りの角加速度 e_{a2mns} に関しては負になるため、負符号をつけているので、右回り、左回りと、数値が大きい方が角加速度が大きい。従って、この評価関数 e_{a2pls} 、 e_{a2mns} が大きくなるように、後

| | |
|-----------|------------|
| 最大トルク | tr_2 |
| 第1アームの長さ | L_1 |
| 肘から先の等価関数 | mw_2 |
| 第2軸の動作範囲 | θ_2 |

図4(a)のように、後節下端節11の長さ r が小さい方が評価関数 e_{a2pls} が大きくなり、角度 ϕ は評価関数 e_{a2pls} に対して大きくは影響しない。

【0033】図4(b)は評価関数 e_{a2mns} を後節下端節11の長さ r と角度 ϕ を変数としてプロットした一例である。尚、各部の定数は上記図4(a)の場合と同様である。図4(b)のように、後節下端節11の長さ r と角度 ϕ の組み合わせに対して極大値が存在する。

【0034】ここでは重錘10の最適取付位置を決定する一例として、角加速度が小さい方の評価関数について、その評価関数の角加速度が大きくなるようにする。即ち、角加速度が小さくなる部分を選けるようにする。

$$t_3 = (I_{w3} + I_{c3}) * \beta_3 + mw_3 * g * L_2 * \cos(\theta_3) - m_c * g * L_w * \cos(\theta_3) \quad (5)$$

【0037】ここで各項の値を次のように定めている。 t_3 は第2の回動軸5の減速機出力軸に加えるべきトルク、 β_3 は第2の回動軸減速機出力軸の角加速度、 mw_3 は手首軸12の等価質量（手首軸にこの等価質量がかかると考える）である。

また、 I_{w3} は手首軸12の等価質量による第2の回動軸5まわりの慣性モーメント

$$I_{w3} = mw_3 * L_2 * L_2$$

I_{c3} は重錘10による第2の回動軸5まわりの慣性モーメント

【0029】角加速度 β_{2pls} 、 β_{2mns} をロボットの動作範囲全域にわたって積分する。ロボットの動作範囲は θ_{2l} が θ_{2l} から θ_{2u} に至るまでである。 θ_{2l} はロボットの動作範囲の下端、 θ_{2u} はロボットの動作範囲の上端である。このようにして求められた関数を後節下端節11の長さ r と角度 ϕ を決定する評価関数 e_{a2pls} 、 e_{a2mns} とする。この評価関数 e_{a2pls} 、 e_{a2mns} は次のようになる。

【0030】

【数1】

節下端節11の長さ r と角度 ϕ を決定する。

【0032】図4(a)は評価関数 e_{a2pls} を後節下端節11の長さ r と角度 ϕ を変数としてプロットした一例である。但し、各部の定数は次のように定めている。

| |
|---------------------------------------|
| $\pm 3000 \text{ Nm}$ |
| 1.2 m |
| 150 Kg |
| $-45 \text{ deg} \sim 90 \text{ deg}$ |

この場合、評価関数 e_{a2mns} （の絶対値）が大きくなるようにする。従って、図4(b)の極大点が第1の回動軸3に関して後節下端節11の長さ r と角度 ϕ の最適値となり、

$$r = 0.24 \text{ m}$$

$$\phi = 60 \text{ deg}$$

となる。

【0035】次に、第2の回動軸5に関する重力負荷軽減方式について説明する。第2の回動軸5の減速機出力軸に加えるべきトルク t_3 は概略次式ようになる。

尚、右回りを正としている。

【0036】

$$I_{c3} = m_c * L_w * L_w$$

である。

【0038】式5では式1（第1の回動軸3に関する式）と同様に、実際にロボットが動作（作業）をしている場合を想定し、この動作中のつり合いの式から重錘10の最適取付位置や質量を決定している。従って、式5ではトルク、各節に作用する重力だけでなく、角加速度により作用する力（角運動方程式）をも考慮している（式5中、 $(I_{w3} + I_{c3}) * \beta_3$ ）。

【0039】式5の左辺 t_3 に減速機の出力 tr_3 が加え

動軸5の減速機 になる。

において、これを 【0040】

解けば次のよう

$$\frac{mw3 * g * L2 * \cos(\theta3) - mc * g * Lw}{(mw3 * L2 * L2 + mc * Lw * Lw)} \quad (6)$$

既知の値を代入
許容トルク)、

節8の長さ)、
力加速度)であ
る。代入した結
果。

既知の値を代入す
様に、tr3(減
速ム6の長
首の等価質

は左回りを正と

している。代入した結果を重錘10の質量mcと第2の
回動軸5の角度 $\theta3$ の関数 $\beta3ms$ とする。

【0043】角加速度 $\beta3pls$ 、 $\beta3ms$ をロボットの動作
範囲全域にわたって積分する。ロボットの動作範囲は $\theta3$
が $\theta3l$ から $\theta3u$ に至るまでである。 $\theta3l$ はロボットの
動作範囲の下端、 $\theta3u$ はロボットの動作範囲の上端であ
る。このようにして求められた関数を重錘10の質量m
cを決定する評価関数 $ea3pls$ 、 $ea3ms$ とする。この
評価関数 $ea3pls$ 、 $ea3ms$ は次のようになる。

【0044】

【数2】

$$= \int_{\theta3l}^{\theta3u} \beta3pls d\theta \quad \dots (7)$$

$$= \int_{\theta3l}^{\theta3u} -\beta3ms d\theta \quad \dots (8)$$

ms に関しては

右回り、左回
きい。従って、
くなるように、

tr3

長さ L2

価関数 mw3

範囲 $\theta3$

に、重錘10

が小さくな

で示すよう

関数 $ea3ms$

を決定する一

部分が少なく

関数 $ea2pls$ と

これらの交点

質量mcは40

重錘10の質

どの点で大き

ば大きいほど

形態2によれ

いる場合を想

重錘10の質量mcを決定する。

【0046】図5は評価関数 $ea2pls$ 、 $ea3ms$ を重錘
10の質量mcを変数としてプロットした一例である。
但し、各部の定数は次のように定めている。

$\pm 3000 \text{ Nm}$

1.2 m

100 Kg

$-15 \text{ deg} \sim 90 \text{ deg}$

定し、角加速度を考慮した動作中のつり合いの式から重
錘10の最適取付位置r、 ϕ や質量mcを決定するの
で、重力負荷を軽減するために重錘10を取り付けて
も、第1の回動軸3(または第1アーム4)及び第2の
回動軸5(または第2アーム6)の角加速度の低下を防
止できる効果が得られる。

【0050】実施の形態3. 上記実施の形態2では第1
の回動軸3、第2の回動軸5の角加速度が低下しないよ
うにとの観点から評価関数を決めていたが、この実施の
形態3ではロボットの動作時間がより短くなるようにす
るという観点から評価関数を決める。図6はこの発明の
実施の形態3による垂直多関節型ロボットの第1の回動
軸3、第2の回動軸5の角速度、時間及び動作角度の関
係を示す図であり、図において、 ta は加速時間、 td
は減速時間、 βa は(加速の)角加速度、 βd は(減速
の)角加速度、 θ は動作角度である。ロボットの第1の
回動軸3、第2の回動軸5が、動作範囲内のある角度ま

わりに加速、減速して小さな角度動作している場合を示している。この時の動作時間、即ち、加速時間と減速時間の和をロボットの動作範囲全域にわたって積分した値を評価関数とする。

$$\beta_a * t_a = \beta_d * t_d \quad (9)$$

【0053】また、動作角度 θ （図中の三角形で囲まれた面積）を用いて次式が成り立つ。

$$\beta_a * t_a^2 / 2 + \beta_d * t_d^2 / 2 = \theta \quad (10)$$

【0055】上記式9と式10とから動作時間 t は、

【数3】

【0056】

$$t = t_a + t_d = \frac{\sqrt{2(\beta_a + \beta_d)\theta}}{\sqrt{\beta_a} + \sqrt{\beta_d}} \quad \dots (11)$$

【0057】となる。ここで、第1の回動軸3に関して、動作時間が短くなるような評価関数を求める。上記実施の形態2で求めた第1の回動軸3の角加速度の評価関数 $ea2pls$ 、 $ea2mns$ （式3、式4）を上記式11に

代入して、評価関数 $eb2$ を次式のように定める。

【0058】

【数4】

$$eb2 = \frac{\theta_{zu} \sqrt{\beta_{2pls} - \beta_{2mns}}}{\theta_{z1} \sqrt{\beta_{2pls}} \sqrt{-\beta_{2mns}}} d\theta \quad \dots (12)$$

【0059】尚、この式12では係数 $\sqrt{2}$ と θ の項は除いている。また、 β_{2mns} は負なので、正にするため負符号をつけている。動作時間が短くなるためにはこの評価関数 $eb2$ が小さくなればよく、そのように後節下端節11の長さ r と角度 ϕ を決定する。

【0060】図7(a)は評価関数 $eb2$ を後節下端節11の長さ r と角度 ϕ を変数としてプロットした一例を示す図である。ここで、各部の定数は上記実施の形態2の場合と同じである。図7(a)に示すように、後節下端節11の長さ r と角度 ϕ のある組み合わせに対して極小値が存在する。従って、その極小値における後節下端節

11の長さ r と角度 ϕ の値が最適値となる。最適値は、

$$r = 0.2 \text{ m}$$

$$\phi = 8 \text{ deg}$$

となる。

【0061】次に第2の回動軸5に関して、動作時間が短くなるような評価関数を求める。第1の回動軸3に関する評価関数 $eb2$ と同様に、動作時間 t は式11で与えられ、

【0062】

【数5】

$$t = \frac{\sqrt{2(\beta_a + \beta_d)\theta}}{\sqrt{\beta_a} + \sqrt{\beta_d}} \quad \dots (13)$$

【0063】である。この式13（式11と同様）に上記実施の形態2で求めた第2の回動軸5の角加速度 β_{3pls} と β_{3mns} （式7、式8）を代入して、評価関数 $eb3$ を

次のように定める。

【0064】

【数6】

$$e_{b3} = \int_{\theta_{3l}}^{\theta_{3u}} \frac{\sqrt{\beta_{3pl5} - \beta_{3mns}}}{\sqrt{\beta_{3pl5}} \sqrt{-\beta_{3mns}}} d\theta \quad \dots (14)$$

【0065】尚、この式14では係数 $\sqrt{(2)}$ と θ の項は除いている。また、 β_{3mns} は負なので、正にするため負符号をつけている。動作時間が短くなるためにはこの評価関数 e_{b3} が小さくなればよく、そのように重錘10の質量 m_c を決定する。

【0066】図7(b)は評価関数 e_{b3} を重錘10の質量 m_c を変数としてプロットした一例を示す図である。ここで、各部の定数は上記実施の形態2の場合と同じである。図7(b)に示すように、重錘10の質量 m_c に対して、極小値が存在する。従って、その極小値における重錘10の質量 m_c の値が最適値となる。最適値は $m_c = 240 \text{ Kg}$ となる。

【0067】以上のように、この実施の形態3によれば、第1の回転軸3、第2の回転軸5の動作時間を用いて評価関数を求め、それにより後節下端節11の長さ r 、角度 ϕ 、重錘10の質量 m_c を決定するので、重力負荷を軽減するために重錘10を取り付けても、第1の回転軸3(または第1アーム4)及び第2の回転軸5(または第2アーム6)の動作時間を短縮できる効果が得られる。また、ロボットの第1の回転軸3、第2の回転軸5が角速度の上限にすぐに達するような場合(小さな角度動作で角速度の上限に達するような場合)、上記実施の形態2で示した角加速度を用いる方法よりも効率よく重力負荷を軽減することができる。

【0068】実施の形態4。上記実施の形態2及び3ではロボットが第1の回転軸3、第2の回転軸5の動作範囲全域($\theta_{2l} \leq \theta \leq \theta_{2u}$, $\theta_{3l} \leq \theta \leq \theta_{3u}$)に動作した

$$X = S_x + L_1 \sin(\theta_2) + L_2 \cos(\theta_3) + W_x \quad (15)$$

$$Z = S_z + L_1 \cos(\theta_2) - L_2 \sin(\theta_3) - W_z \quad (16)$$

【0072】但し、(S_x , S_z)はロボットの肩(第1の回転軸3)の座標、(W_x , W_z)はロボットの手首軸12のオフセット座標である。上記関係式(式15、式16)を用いて、図中の長方形で囲まれた範囲内の座標に対する第1の回転軸3、第2の回転軸5の角度 θ_2 、 θ_3 を求め、上記実施の形態2及び3と同様に評価関数を求め、後節下端節11の長さ r と角度 ϕ 、重錘10の質量 m_c を最適化すればよい。尚、図中の長方形で囲まれた範囲内の座標を与えると、この範囲内で一定間隔の格子点の座標を与えてもよく、また具体的に作業が決まっていればロボットの軌道が決まっているときはその軌道を与えてもよく、さらにモンテカルロ法を用いて乱数で与えてもよい。

【0073】以上のように、この実施の形態4によれば、

場合を想定し、この範囲内で角加速度又は動作時間を積分した値を評価関数として用いた。しかし、この評価関数は実際に作業するときには手首軸12が到達しないような範囲まで積分の範囲に含めている。そこで、この実施の形態4では、実際にロボットが作業する動作範囲に限定し、評価関数を求める。図8はこの発明の実施の形態4による垂直多関節型ロボットの実際の動作範囲を示す図である。図中の各点は、ロボットの第1の回転軸3及び第2の回転軸5をそれぞれの軸の動作範囲内で5度ずつ動かしたときの手首軸12位置をプロットしたものである。また、長方形で囲まれた部分は、ロボットが実際に作業する動作範囲を示すものである。

【0069】ロボットが第1の回転軸3、第2の回転軸5の動作範囲全域に動作した場合、手首軸12が動作可能な範囲は図中の点が描くような三日月状の範囲であるが、実際にロボットが作業する動作範囲は、図中の長方形で囲まれた部分であることが多い。従って、図中の長方形で囲まれた部分について角加速度又は動作時間を積分し、この値を評価関数として用いる。

【0070】図8の長方形で囲まれた範囲内の点の座標を(X , Z)とし、手首軸12がこの点(X , Z)に到達しているときの第1の回転軸3と第2の回転軸5の角度を図9に示すように(θ_2 , θ_3)とすると、手首軸12の座標(x , z)は、第1アーム4の長さ L_1 、第2アーム6の長さ L_2 を用いて次のように表すことができる。

【0071】

ば、ロボットが実際に作業する動作範囲に限って評価関数を求め、それにより後節下端節11の長さ r 、角度 ϕ 及び重錘10の質量 m_c を決定するので、さらに効率よく重力負荷を軽減することができる。

【0074】尚、上記実施の形態2、3及び4において、 m_{w2} を単に肘から先の等価質量、 m_{w3} を単に手首軸12の等価質量としたが、ロボットの用途が溶接ロボット、塗装ロボットなどであり、手先に持つのがそれぞれ溶接ガン、塗装スプレーなどと決まっており、手先の質量が一定である場合には、 m_{w2} は手先の質量を含む肘から先の等価質量、 m_{w3} は手先の質量を含む手首軸12の等価質量となる。また、ロボットが組み立てロボット、パレタイズロボットなどであり、手先のロボットハンドにワークを持っているときと、ワークを持っていな

いときがあるような場合には、どちらの場合にも適当な重力補償が働くように、例えば、 $mw2$ はワークの質量の $1/2$ を含む肘から先の等価質量、 $mw3$ はワークの質量の $1/2$ を含む手首軸12の等価質量となる。

【0075】尚、上記実施の形態2及び3において、評価関数としてロボットの動作範囲にわたる角加速度又は動作時間の積分値を用いたが、積分値でなく適当な間隔で与えた角度に対する角加速度又は動作時間の総和(Σ)を用いてもよい。

【0076】尚、上記実施の形態2、3及び4において、トルクの限界値(最大値)として、減速機の許容最大トルクを用いたが、場合によってはモータの最大トルクを用いてもよい。

【0077】

【発明の効果】以上のように、請求項1記載の発明によれば、一端が後節と所定の角度を保持するよう後節の他端に取り付けられた後節下端節と、この後節下端節の他端に取り付けられた重錘とを備えるように構成したので、重錘を用いて第1アームと第2アームの重力負荷を同時に軽減する際、後節下端節の後節に対する角度、後節下端節の長さを変更し、重錘の取付位置を最適にすることにより、最適重力負荷軽減を得られる効果がある。また、重錘の取付位置を後節下端節の後節に対する所定の角度を持たせているので重錘の質量をあまり重くしなくても十分に重力負荷を軽減できる効果がある。

【0078】請求項2記載の発明によれば、後節下端節の後節に対する角度、後節下端節の長さ及び重錘の質量を、第1の回動軸及び第2の回動軸の角加速度、第1の回動軸及び第2の回動軸のトルク、及び第1アーム、第2アーム、下節及び後節下端節に作用する重力により決定するように構成したので、実際にロボットが動作(作業)をしている場合を想定し、角加速度を考慮した動作中のつり合いの式から重錘の最適取付位置や質量を決定でき、また重力負荷を軽減するために重錘を取り付けても、第1の回動軸(または第1アーム)及び第2の回動軸(または第2アーム)の角加速度の低下を防止できる効果がある。

【0079】請求項3記載の発明によれば、後節下端節の後節に対する角度、後節下端節の長さ及び重錘の質量を、第1の回動軸及び第2の回動軸の動作時間、第1の回動軸及び第2の回動軸の角加速度、第1の回動軸及び第2の回動軸のトルク、及び第1アーム、第2アーム、下節及び後節下端節に作用する重力により決定するように構成したので、各回動軸の動作時間を用いて評価関数を求め、それにより後節下端節の長さ、角度、重錘の質量を決定でき、重力負荷を軽減するために重錘を取り付けても、第1の回動軸(または第1アーム)及び第2の回動軸(または第2アーム)の動作時間を短縮できる効果がある。また、ロボットの回動軸が角速度の上限にす

ぐに達するような場合(小さな角度動作で角速度の上限に達するような場合)、角加速度を用いる方法よりも効率よく重力負荷を軽減することができる効果がある。

【0080】請求項4記載の発明によれば、ロボットが実際に作業する動作範囲を限定し、後節下端節の後節に対する角度、上記後節下端節の長さ及び重錘の質量を決定するように構成したので、ロボットが実際に作業する動作範囲に限って評価関数を求め、それにより後節下端節の長さ、角度及び重錘の質量を決定するので、さらに効率よく重力負荷を軽減することができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による平行リンク式垂直多関節型ロボットを示す構成図である。

【図2】 この発明の実施の形態1による平行リンク式垂直多関節型ロボットの動作説明をするための概略図である。

【図3】 この発明の実施の形態2による平行リンク式垂直多関節型ロボットを示す概略図である。

【図4】 評価関数 $e2pls$ 、 $e2mns$ を後節下端節の長さ r と角度 ϕ を変数としてプロットした一例を示す図である。

【図5】 評価関数 $e2pls$ 、 $e3mns$ を重錘の質量 mc を変数としてプロットした一例を示す図である。

【図6】 この発明の実施の形態3による垂直多関節型ロボットの第1の回動軸、第2の回動軸の角速度、時間及び動作角度の関係を示す図である。

【図7】 評価関数 $e2b$ を後節下端節の長さ r と角度 ϕ を変数としてプロットした一例を示す図及び評価関数 $e3b$ を重錘の質量 mc を変数としてプロットした一例を示す図である。

【図8】 この発明の実施の形態4による垂直多関節型ロボットの実際の動作範囲を示す図である。

【図9】 この発明の実施の形態4による垂直多関節型ロボットを示す構成図である。

【図10】 従来の多関節型ロボットを示す構成図である。

【図11】 実開平1-121682号公報に示された平行リンク式垂直多関節型ロボットを示す構成図である。

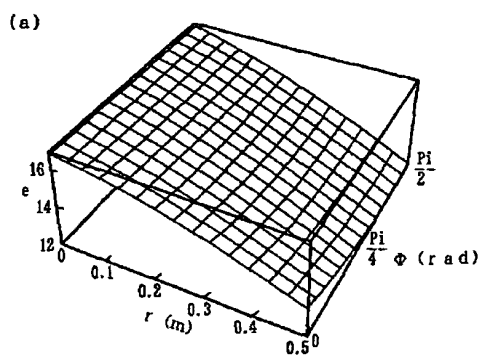
【図12】 特公平7-16903号公報に示された多関節型ロボットの重力バランスを示す図である。

【図13】 従来のバネを用いた垂直多関節型ロボットを示す構成図である。

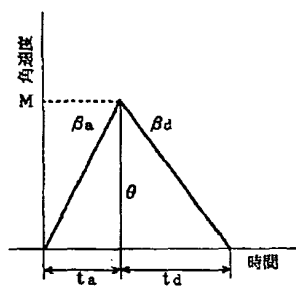
【符号の説明】

2 ロボット胴部、3 第1の回動軸、4 第1アーム、5 第2の回動軸、6 第2アーム、8 下節、9 後節、10 重錘、11 後節下端節、12 手首軸(把持手段)、13 ハンド(把持手段)、14 ワーク。

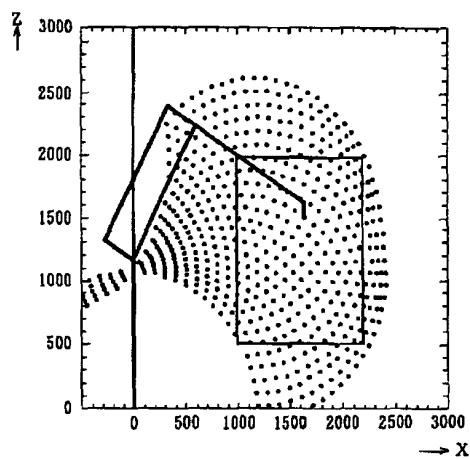
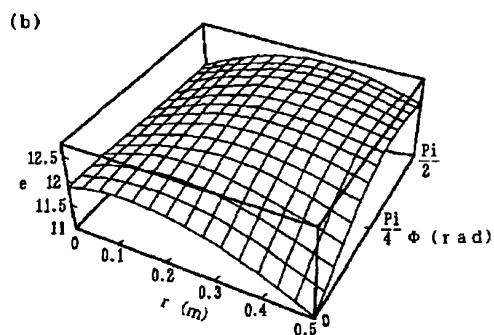
【図4】



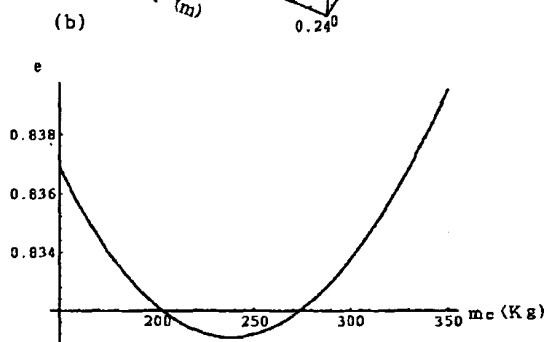
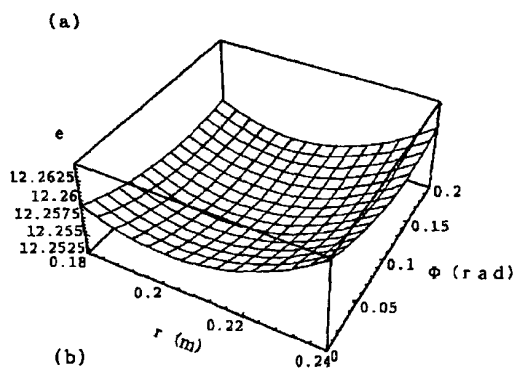
【図6】



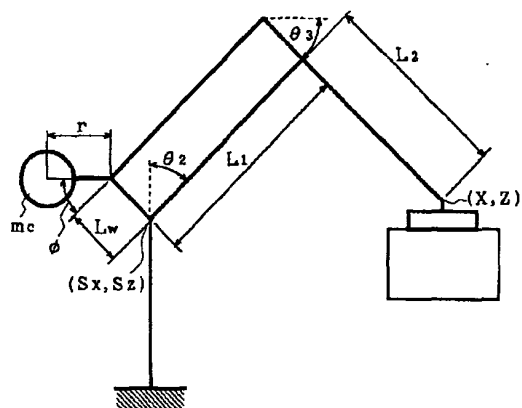
【図8】



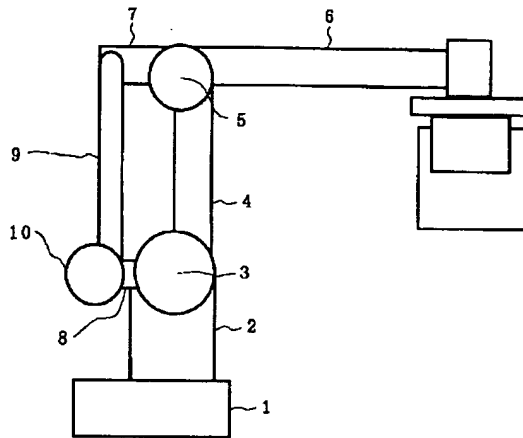
【図7】



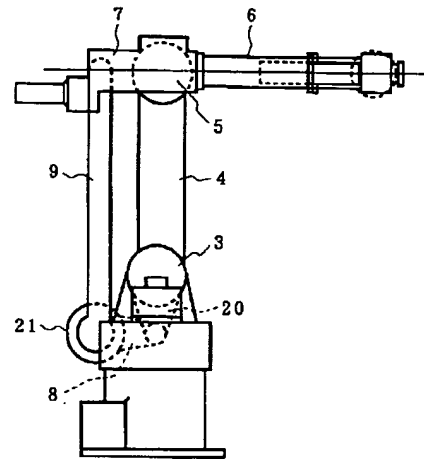
【図9】



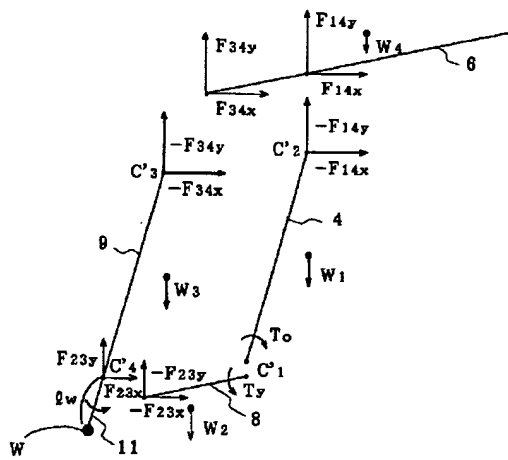
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

